

II. *Untersuchungen über die Hervorrufung der Phosphorescenz und über verschiedene Eigenschaften des elektrischen Funkens;*
von Hrn. Edmund Becquerel.

(*Biblioth. univ. N. S. T. XX p. 344.*)

I. Phosphorescenz, erzeugt durch den in der Luft unter verschiedenem Druck überspringenden elektrischen Funken.

Boyle ist, glaube ich, der Erste, welcher die Phosphorescenz organischer Substanzen unter der Glocke der Luftpumpe zu beobachten versucht hat. Er sah, daß in dem Maasse als die Luft verdünnt wurde, der Lichtschein von phosphorescirenden Hölzern und Fischen abnahm, und endlich bei völliger Luftleere ganz verschwand. Er schloß daraus, die Luft sey nothwendig zur Erzeugung des Phänomens. Dessaignes bemerkte überdies, daß in dem Act der Phosphorescenz organischer Körper Kohlensäure gebildet werde, und diese Körper nur leuchtend werden in Mitteln, wo die Bildung dieser Säure möglich ist. Mein Vater schloß daraus, es würden die organischen Körper sehr wahrscheinlich dadurch leuchtend, daß sich die durch langsame Einwirkung ihrer Bestandtheile auf die äußeren Agentien entwickelten Electricitäten wieder vereinigten. Andererseits weiß man seit lange, daß Mineralkörper, nachdem sie einige Zeit dem Tageslicht ausgesetzt worden, in der Luft wie im barometrischen Vacuo glänzend phosphoresciren, unter andern der Canton'sche und Bologneser Leuchtstein, der Diamant u. s. w.

Um zu sehen, ob der Lichtschein der phosphorescirenden Substanzen im Vacuo rascher abnehme als in der Luft, brachte ich geöhlte Austerschalen in zwei Schälchen, und stellte sie, nachdem sie dem Tageslicht aus-

gesetzt worden, die eine unter die Glocke der Luftpumpe, die andere daneben unter eine mit Luft gefüllte Glocke. Beim schnellen Auspumpen der Luft sah ich die Phosphorescenz der Austerschalen nicht merklich abnehmen, und nach Verlauf einer Viertelstunde war das Licht der Austerschalen, so weit ich mit den Augen urtheilen konnte, in beiden Schälchen gleich.

Um mich zu überzeugen, ob das elektrische Licht die Körper eben so im Vacuo phosphorescirend mache wie das Sonnenlicht, brachte ich eine Gypsplatte auf die oben in einer Glocke befindliche Oeffnung, so daß sie dieselbe genau verschloß, und pumpte die Glocke aus, nachdem ich einige Centimeter unterhalb der Platte ein mit geglühten Austerschalen gefülltes Schälchen gestellt hatte. Als ich darauf oberhalb der Gypsplatte, in der Luft, den Funken von der Entladung einer Batterie von achtzehn Flaschen überschlagen liefs, wurden die Austerschalen stark leuchtend. Ich liefs nun die Luft hinein und entlud abermals die bis zu demselben Grad geladene Batterie; die Austerschalen wurden nicht glänzender wie zuvor.

Ich habe eine Platte Gyps angewandt, weil diese Substanz, nach den Untersuchungen meines Vaters und Hrn. Biot's, die phosphorescirende Eigenschaft des elektrischen Lichts fast gänzlich durchläßt ¹⁾).

Die von mir angewandten Austerschalen waren mit Schwefelcalcium geglüht. Dieser Phosphor (*pyrophore*) giebt bekanntlich durch Insolation wie durch den elektrischen Funken ein äufserst lebhaftes grüngelbes Licht.

Bei vorgenannten Versuchen sprang der elektrische Funke in Luft über; ich wollte nun auch sehen, was im Vacuo vorgehe.

Nachdem ich ein mit Austerschalen gefülltes Schälchen unter die Glocke der Luftpumpe gestellt hatte, liefs

1) Diese Untersuchungen sollen in einem der nächsten Hefte mitgetheilt werden. P.

ich, einige Centimeter über ihrer Oberfläche, in verdünnter Luft, die Ladung der Batterie überschlagen. Die Austerschalen wurden schwach leuchtend; mehrere Entladungen bewirkten dasselbe. Nach Einlassung von etwas Luft, und nach einer abermaligen Entladung leuchteten sie stärker; endlich als die Luft wieder ganz unter die Glocke gelassen wurde, waren sie, nach dem elektrischen Funken, sehr phosphorescirend. Dieser Versuch gab bei mehrmaliger Wiederholung mit Austerschalen und mit grünem Flussspath dieselben Resultate.

Um dem Einwurfe zu begegnen, als seyen die Austerschalen vermöge der durch eine Reihe von Funken bewirkten Erregbarkeit phosphorescirender geworden, nahm ich wenig leuchtenden Bologneser Leuchtstein (geglühten Schwerspath), brachte ihn unter die Glocke, und liefs über ihm, im Abstände von mehreren Centimetern, sowohl in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit als in verdünnter Luft, die Entladungen einer bis zu 60° des Kugel-Elektrometers geladenen Batterie hinwegstreichen. Dieser Phosphor wurde nur merkbar leuchtend, wenn die Funken in der Luft unter gewöhnlichem Druck überschlugen; er blieb fast dunkel, wenn die Entladung durch verdünnte Luft ging.

Um den Lichtschein der Austerschalen mit etwas Genauigkeit zu vergleichen, wenn der Funke in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit und in verdünnter oder verdichteter Luft übersprang, wandte ich den Taf. I Fig. 8 abgebildeten Apparat an.

AB, *CD* sind zwei Glaskugeln, mit Löchern an den Seiten, durch welche die Kupferstäbchen *ab*, *cm*, *nd*, *ef* gehen, die zur Verpflanzung der Entladung in das Innere bestimmt sind. Die beiden Stäbchen *cm*, *nd* gemeinschaften mit einander, und *ef* steht mit dem Boden in Leitung, so dafs, wenn man *ab* mit dem inneren Belege der Batterie verbindet, der Funke gleichzeitig in beiden Kugeln überspringt.

ab geht durch eine Stopfbüchse, und kann hinein- oder herausgeschoben werden, bis der gleichzeitig in beiden Kugeln überschlagende Funke, die in *A* und *B* befindlichen Austerschalen gleich stark phosphorescirend macht. Man verbindet nun eine Luftpumpe mit der Kugel *CD*, verdünnt die Luft darin und läßt Funken zwischen den Kupferstäbchen überschlagen. Man sieht dann, nach der Entladung, die bei *D*, in verdünnter Luft, befindlichen Austerschalen weit weniger leuchten als die bei *B* in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit. Statt in *CD* die Luft zu verdünnen, verdichte man sie nun durch eine Compressionspumpe bis zu 3 oder 4 Atmosphären. Bewirkt man darauf, ohne an dem System der Stäbchen etwas zu ändern, eine Entladung, so sieht man dagegen hernach, daß die Austerschalen bei *D*, in der verdichteten Luft, stärker phosphoresciren als die bei *B* in Luft unter dem gewöhnlichen Druck.

Nach diesen Versuchen ist nicht mehr zu zweifeln erlaubt, daß der Luftdruck auf die Hervorrufung des Phänomens Einfluß hat. Der Druck macht aber nicht die Austerschalen leuchtender, sondern ändert den elektrischen Funken ab. Aus den angeführten Thatsachen kann man schließen, daß, wenn man eine stets bis zu demselben Grad geladene Batterie entladet, und zwar nach einander in Luft unter geringerem und unter größerem Druck als der atmosphärische, der erfolgende Funke solchergestalt abgeändert wird, daß seine Ausstrahlung verschiedenen Substanzen eine schwächere oder stärkere Phosphorescenz einprägt als unter gewöhnlichem Druck. Längst weiß man, daß, wenn man elektrische Funken im Vacuo überschlagen läßt, ihr Licht weit weniger intensiv ist als in Luft unter gewöhnlichem Druck; und Davy hat gezeigt, daß, je weniger materielle Theilchen in den vom Funken durchsprungenen Mitteln vorhanden sind, desto schwächer das Licht dieses Funkens ist; ich muß indess bemerken, daß wenn man Entla-

dungen sehr starker Batterien durch das pneumatische Vacuum überschlagen läßt, das Licht des erfolgenden Funkens eben so lebhaft scheint wie in Luft unter gewöhnlichem Druck.

Der Mangel an Mitteln zur Vergleichung der Lichter dieser Art ist Ursache, daß ich nicht den Intensitätsgrad des phosphorischen Scheins vergleichen konnte. Aus demselben Grunde ist die Wirkung auf die Austerschalen, wenn eine der Kugeln mit Kohlensäure unter dem gewöhnlichen Luftdruck gefüllt worden, fast dieselbe wie in Luft unter demselben Druck. Zwar herrscht zwischen den Funken in Luft und in Kohlensäure ein Unterschied, der, wie Faraday bemerkt hat ¹⁾ von der Natur der Gase herrührt; allein er ist nicht so stark, daß er sich durch eine ungleiche Erregung der Phosphoreszenz in Austerschalen in wahrnehmbarer Weise äußert.

II. Ueber die Phosphoreszenz durch Temperatur-Erhöhung.

Canton, einer der ersten Physiker, die sich mit der Phosphoreszenz der Mineralien durch Temperatur-Erhöhung beschäftigten, bemerkte, daß sein Phosphor, sobald der nicht den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen, durch Wärme nicht leuchtend werde, eine Eigenschaft, die sich auch bei andern künstlichen Phosphoren findet, wenn man statt der Sonnenstrahlen den elektrischen Funken anwendet, wie Hr. Pearsall gethan ²⁾. Es scheint demnach als wirke das Sonnenlicht (*radiation de la lumière solaire*) oder das elektrische Licht auf die Austerschalen in der Art, daß es ihnen eine neue Molecular-Anordnung gebe; in diesem Fall, wie mein Vater glaubt, vereinigen sich die entwickelten Elektricitäten wieder und bilden den Lichtschein. Gute Leiter würden nicht phosphorescirend seyn, wie es die Erfahrung lehrt, weil die durch die
Wir-

1) Ann. Bd. XXXXVII S. 537.

2) Ann. Bd. XX S. 252 und Bd. XXII S. 566.

Wirkung des Sonnenlichts entwickelten Elektricitäten sich, nachdem sie eine gewisse Spannung erreicht, unmittelbar wieder vereinigen würden.

Ein Beweis, daß die Phosphorescenz von einer neuen Molecular-Anordnung herrührt, liegt darin, daß die verschiedenen Varietäten des Flufsspaths nur dann durch Wärme zum Phosphoresciren gebracht werden können, wenn sie farbig sind, obwohl sie dieselbe chemische Zusammensetzung haben. Pearsall hat farblosem Flufsspath dadurch, daß er ihn elektrischen Entladungen aussetzte, die Veilchenfarbe des natürlichen violetten Flufsspaths mitgetheilt, und gefunden, daß er dann, wie dieser, durch Wärme phosphorescirend ist. Bekanntlich werden auch Austerschalen, die, nachdem sie dem Lichte ausgesetzt und darauf in's Dunkle gebracht worden, daselbst allmählig verblichen sind, wieder leuchtend, wenn man sie erwärmt.

Ich wollte wissen, ob eine große Temperatur-Erniedrigung die Phosphorescenz der Austerschalen schwäche; und die Erfahrung bejahte diese Frage. Von Austerschalen, die durch Insolation phosphorescirend gemacht, wurde ein Theil in einem Schälchen bis -20° C. erkaltet, der andere in einem Schälchen der gewöhnlichen Temperatur ausgesetzt. Es zeigte sich, daß die kalt gehaltenen Austerschalen ihre Phosphorescenz schneller als die anderen verloren.

Nun setzte ich eine Portion geglühter Austerschalen in gewöhnlicher Temperatur, und eine andere in einer Kältemischung auf einige Zeit dem Sonnenlichte aus und brachte sie darauf in's Dunkle. Beide gaben, selbst nach einer Viertelstunde, einen gleich starken Lichtschein. Als indess die in der Kältemischung befindliche erloschen war, und man sie darauf in gewöhnliche Temperatur brachte, wurde sie phosphorescirend, aber nur auf kurze Zeit; erhöhte man dann ihre Temperatur, kam der Schimmer wieder zum Vorschein.

Schüttet man frisch geglühte Austerschalen auf eine ungefähr bis 100° oder 200° erhitzte Feuerschaufel, setzt sie darauf dem Sonnenlicht aus und bringt sie sogleich wieder in's Finstere, so zeigen sie nur einen schwachen und bald verschwindenden Lichtschein. Ist die Schaufel rothglühend, so werden sie nicht mehr phosphorescirend durch das Licht.

Hieraus ersieht man, dafs die Bestrahlung nach der Temperatur verschieden wirkt, dafs, je niedriger diese ist, die Körper desto stärker vom Lichte erregt werden ¹⁾.

III. Wirkung elektrischer Entladungen auf Drähte von sehr geringem Durchmesser.

Nairne hat eine Thatfache beobachtet, die vielleicht nicht genug beachtet worden ist. Leitet man nämlich eine starke elektrische Entladung durch einen sehr dünnen Draht von Eisen oder Silber, der lang genug ist, um blofs zu glühen, so findet man nach der Entladung, dafs er an Länge abgenommen hat, ohne sein Gewicht zu ändern. Diefs deutet auf eine Verkürzung des Drahts und eine Zunahme seines Durchmessers. Bei Wiederholung dieses Versuchs mit Platindrähten von 0,072 Millimeter Durchmesser, beobachtete ich eine Verkürzung; allein nach mehreren Entladungen tritt eine andere Wirkung hinzu, von der ich weiterhin sprechen werde.

Statt den Draht zwischen den Klemmen eines allgemeinen Ausladers (*exilateur universel*) auszuspannen,

1) Die Erregung könnte vielleicht in allen Temperaturen gleich seyn. Die Körper leuchten nämlich, wie Seebeck gezeigt (Göthe's Farbenlehre, II, S. 709), schon während der Bestrahlung, und wenn daher dieselbe in hoher Temperatur weniger wirksam erscheint, so könnte diefs daher rühren, dafs sie in hoher Temperatur ihre Phosphoreszenz rascher verlieren. Das Sonnenlicht selbst muß, indem es die Körper erwärmt, einen Theil seiner Phosphoreszenz erregenden Wirkung scheinbar vernichten. P.

hing ich ihn an einem Faden in einer Klemme auf, und befestigte an dem andern Ende eine kleine Bleikugel von hinreichendem Gewicht, um den Faden straff zu ziehen. Diese Kugel ruhte auf einem Kupfergestell mit beweglichem Fuß, so daß man es beliebig heben und senken konnte. Diese Vorrichtung hatte nur den Zweck, das bei Ausspannung zwischen den Klemmen des Ausladers erfolgende Reißen des Drahts nach seiner Verkürzung zu verhüten.

Als ich durch den 0^{mm},072 dicken Platindraht die Entladung einer bis 60° des Quadranten-Elektrometers (*electromètre à balles*) geladenen Batterie von 18 Flaschen leitete, erhielt ich:

Ursprüngl. Länge des Drahts.	Länge derselben nach den Entladungen				Mittlere Verkürzung durch jede Entladung.	Verhältn. der Wirkung zur Länge.
	nach einer	nach zwei	nach drei	nach fünf		
85°,3	84°,5	83°,3	82°,2	80°,5	0°,96	0,0117.

Mit einem andern Draht von gleichem Durchmesser:

Ursprüngl. Länge.	Länge nach zwei Entladungen.	Verkürzung.	Verhältniß der Verkürzung zur Länge.
70°	68°,5	0°,75	0,0107.

In Luft ist also für Platindrähte von 0^{mm},072 Durchmesser die mittlere Verkürzung gleich 0,0112.

Bei einem Draht von 0^{mm},093 Durchmesser fand sich eine Verkürzung von 0,0052 der Länge.

Ursprüngl. Länge des Drahts.	Länge nach zwei Entladungen.	Verkürzung für 1 Entlad.	Verhältniß der Verkürzung zur Länge.	Mittel.
51°,5	50°,9	0°,3	0°,0058	0,0052
49°,5	49°,05	0°,225	0°,0046	

Vergleicht man die mittleren Verkürzungen beider Drähte, so hat man $\frac{107}{52} = 2,06$. Das umgekehrte Verhältniß der Durchmesser ist 1,20, wovon der Cubus

2,19 oder nahe $\frac{107}{52}$ ist. Man kann also die Verkürzungen sehr feiner Platindrähte als nahe den umgekehrten Verhältnissen des Würfels der Halb- oder Durchmesser der Drähte proportional betrachten.

Ein Versuch mit einem 0^{mm},112 dicken Silberdraht und mit Entladungen der immer bis 60° des Quadranten-Elektrometers geladenen Batterie gab eine Verkürzung von 0,0048.

Ich wollte versuchen, ob die Verkürzung der Drähte in verdünnter Luft wie in Luft unter gewöhnlichem Druck stattfindet. Ehe ich indess die Resultate meiner Versuche angebe, muß ich an eine von Hrn. Harris ¹⁾ beobachtete und von mir bestätigt gefundene Thatsache erinnern, nämlich, daß sehr dünne Drähte im Vacuo und in verdünnter Luft schwerer schmelzen als in Luft unter gewöhnlichem Druck. Man kann also im Vacuo längere Drähte anwenden als in der Luft.

In der Glocke einer Luftpumpe befestigte ich einen 0^{mm},072 dicken Platindraht, und zwar so, daß er oben an einer Klemme hing und unten ein kleines Bleigewicht trug, das durch Heben und Senken der Klemme, die an einem durch eine Stopfbüchse in die Glocke gehenden Stift befestigt war, zur Ruhe auf einem Kupfersockel gebracht werden konnte. Nach Verdünnung der Luft bis auf 5 Mm. Druck wurden bei Entladung der Batterie von 18 Flaschen durch Drähte von 18°,3 und 34°,5 Länge folgende Resultate erhalten:

ursprüngl.	Länge des Drahts		Verkürzung für eine Entladung.	Verhältniß der Verkürz. zur Länge.	Mittel.
	nach einer Entl.	nach zwei Entl.			
18°,3	18°		0°,3	0,016	0,0135
34°,5	31°,2	33°,7	0°,4	0,011	

Aus dieser Tafel ersieht man, daß die mittlere Ver-
1) *Phil. Transact. f.* 1834.

kürzung ungefähr 0,013 von der Länge des Drahts beträgt; für denselben Draht wurde, in Luft unter gewöhnlichem Druck, diese Verkürzung gleich 0,011 gefunden. Man kann daraus schliessen, daß die Luft nicht auf die Erscheinung einwirkt, da die erhaltenen Zahlen für die Verkürzung im Vacuo und in der Luft nur in den Tausendsteln von einander abweichen und man einer Batterie nicht immer genau dieselbe Ladung geben kann. Wenn z. B. ein 0^{mm},072 dicker Platindraht elektrischen Entladungen ausgesetzt wird und er ohne Schmelzung glüht, so bemerkt man, daß er bei der dritten oder vierten Entladung nicht mehr gerade bleibt, wie zuvor, sondern wellenförmig gekrümmt wird. Läßt man z. B. 5 bis 10 Entladungen durchgehen, so erhält der Draht das Asehen der Fig. 9 Taf. I. Ueberdies bemerkt man, daß bei vermehrten Entladungen die wellenförmigen Theile an GröÙe zunehmen, ohne jemals zu verschwinden und andern Platz zu machen. Verkürzt man darauf den Draht ein wenig und läßt eine neue Entladung hindurch, so bilden sich nicht nur neue Undulationen, sondern die vorherigen vergrößern sich, und das bei jeglicher Stärke der Entladung. Hält man den Draht ausgespannt, so wird er nicht undulirt. Mit einem Draht von beträchtlicher Dicke habe ich diese Erscheinung nicht hervorrufen können.

Das Dickerwerden sehr dünner Drähte erklärt sich sehr leicht durch die Expansivkraft des elektrischen Funkens, nicht aber so die wellenförmige Biegung des Drahts. Ob diese von einer Vibrationsbewegung der Theilchen des Drahts senkrecht gegen dessen Länge herrühre, und, wie die Verkürzung des Drahts anzudeuten scheint, von der elektrischen Entladung bewirkt werde, oder ob sie von der Zusammenziehung des Drahts abhange, kann für jetzt nicht entschieden werden.
